



TESIS - 141501

Desain High Skew Propeller Kapal Selam 29 Meter dengan Menggunakan Metode Numerik Dan Uji Model

Cahya Kusuma

NRP. 4115 201 001

Dosen Pembimbing :

DR.Eng I Made Ariana, ST.MT

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



THESIS ME-141501

Desain High Skew Propeller Kapal Selam 29 Meter dengan Menggunakan Metode Numerik Dan Uji Model

Cahya Kusuma
NRP. 4115 204 001

DOSEN PEMBIMBING
Dr.Eng I Made Ariana, ST.MT

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

Judul Tesis : Desain High Skew Propeller Kapal Selam 29 Meter Dengan Menggunakan Metode Numerik Dan Uji Model

Oleh : Cahya Kusuma

NRP : 4115 204 001

Telah Diujikan pada:

Hari/Tanggal : Selasa/25 Juli 2017

Periode Wisuda : September 2017

Untuk Mendapat Gelar Magister Teknik (MT) Pada Program Pasca Sarjana

Teknologi Kelautan-Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dosen Pembimbing

1. Dr.Eng. I Made Ariana, ST. MT
NIP: 1971 0610 1995 12 1001



Dosen Penguji

1. Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng. Ph.D
NIP: 1956 0519 1986 10 1001
2. Dr. Eddy Setyo K, ST.M.Sc
NIP: 1968 0701 1995 12 1001
3. Dr.Eng. I Made Ariana, ST. MT
NIP: 1971 0610 1995 12 1001



**Dekan Fakultas Teknik Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Prof. Ir. Daniel M Rosyid. Ph.D
NIP.1961 0702 1988 03 1003**

Desain High Skew Propeller Kapal Selam 29 Meter Dengan menggunakan Metode Numerik Dan Uji Model

Nama Mahasiswa : Cahya Kusuma
NRP : 4115 204 001
Pembimbing : Dr. Eng. I Made Ariana, ST. MT

ABSTRAK

Kapal selam 29 meter dengan diameter hull 3 meter dan displacement 150T sangat cocok untuk perairan Indonesia barat yang dangkal karena memiliki beberapa kelebihan. Perhitungan powering terutama tahanan kapal dilakukan dengan menggunakan metode MIT dan metode kapal pembanding untuk mendapatkan koefisien Admiral. Berdasar dari hasil perhitungan kedua metode tersebut dilakukan perancangan propeller. Propeller didesain dengan menggunakan Propeller B series. Penggunaan propeller B-series lebih disebabkan karena kelengkapan data dan informasi performa seri tersebut bila dibandingkan dengan seri propeller lainnya.

Dari hasil desain yang didapat maka kemudian dibuatkan model dengan menggunakan skala 1:11.5 dan dibuat dengan menggunakan mesin CNC 5 axis. Kemudian model diuji *open water test* untuk mendapatkan diagram open water test. Dengan menggunakan J_D dapat dihitung nilai Thrust, Torsi dan Effisiensi yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan propeller B5-52

Dari analisa performa didapatkan penambahan skew sampai dengan 45° maka akan mengalami penurunan performa. Hasil Analisa kebutuhan thrust dan ketersediaan daya mesin, maka propeller B5-52 ternyata layak dipakai sebagai propulsor kapal selam mini 29 m. Dengan menggunakan kapal selam pembanding dengan ukuran yang hampir sama maka dapat disimpulkan desain propeller high skew 45° layak digunakan sebagai propeller kapal selam 29 meter namun dengan mesin yang lebih besar daripada apabila menggunakan B series.

Kata kunci: kapal selam, powering, desain, propeller high skew, open water test

High Skew Propeller Design 29 Meter Submarine Using Numerical Methods And Model Test

By : Cahya, Kusuma
Student Identity Number : 4115 204 001
Supervisor : Dr. Eng. I Made Ariana, ST. MT

ABSTRACT

Submarine 29 meter with a hull diameter of 3 meters and a displacement of 150T is perfect for shallow western Indonesian waters because it has several advantages. The calculation of powering, especially the ship resistance is done by using MIT method and the comparison ship method to obtain Admiralty coefficient. Based on the calculation of both methods is done propeller design. Propellers are designed using Propeller B series. The use of B-series propellers is more due to the completeness of the data and performance information of the series when compared to other propeller series.

The design obtained then made a model using a scale of 1 : 11.5 and made using a CNC 5 axis machine. Then the model tested open water test to get the open water test diagram. By using J_D can be calculated Thrust, Torque and Efficiency value which then result compared with propeller B5-52

From the performance analysis, the addition of skew up to 45° will decrease the performance. Result of analysis of thrust requirement and availability of machine power, hence propeller B5-52 turns proper use as propulsor mini submarine 29 m. By using comparable submarines of similar size it can be concluded that the design of high skew 45° propeller is suitable for use as a 29 meter submarine propeller but with a larger engine than when using the B series.

Keywords: submarine, powering, design, propeller, suitable

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Kata Pengantar	v
BAB I Pendahuluan	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	3
I.3 Batasan Masalah.....	3
I.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
I.5 Hipotesis.....	4
BAB II Kajian Pustaka dan Dasar Teori	
II.1 Kajian Pustaka.....	5
II.1.1 Pengujian Tahanan Model Kapal Mini 22 meter.....	5
II.1.2 Penghitungan tahanan dengtan MIT Method.....	8
II.2 Dasar Teori Teori.....	9
II.2.1. Pengembangan Desain Propeller Kapal Selam Mini dengan B-Series Desain.....	9 11
II.2.2. Penambahan Skew Propeller.....	
II.1.3. Metode Percobaan Propeller Open Water Test.....	14
II.3.1 Persiapan.....	17
II.3.2 Prosedur Pengujian.....	18
BAB 3 Metodologi Penelitian	
III.1 Metode Penelitian	14
III.2 Prosedur Penelitian.....	15
III.3 Dampak yang Diharapkan secara Sosial Ekonomi.....	18
BAB IV Hasil dan Pembahasan	
IV.1. Penghitungan Tahanan dan Daya Mesin.....	20
IV.1.1. Penghitungan Tahanan.....	20

IV.1.2. Perhitungan Thrust.....	23
IV.1.3. Perhitungan Daya Mesin (BHP).....	24
IV.1.4. Penghitungan Desain Propeller.....	25
IV. 2. Pembuatan Model High Skew Propeller.....	27
IV. 3. Pengujian Open Water Test.....	29
IV.3.1. Pengujian Open Water Propeller Model Kapal Selam 29 meter.....	29
IV.3.2. Model Propeller.....	31
IV.3.3. Pelaksanaan pengujian open water test.....	32
IV.3.4. Hasil pengujian open water test	36
BAB V. Kesimpulan dan Saran	
V.1.Kesimpulan.....	44
V.2. Saran	45
Daftar Pustaka.....	46
Lampiran.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar .1. Design Kapal selam mini 22 meter karya Dinas Penelitian dan Pengembangan TNI AL kerjasama dengan BPPT.....	6
Gambar .2. Aliran streamline pada badan kapal selam.....	6
Gambar .3. Karakteristik tahanan kapal selam di permukaan air terhadap Kecepatan.....	7
Gambar .4. Karakteristik tahanan kapal selam di bawah air.....	8
Gambar 5. Thrust deduction factor.....	11
Gambar 6 : Definisi High skew.....	11
Gambar 7 : Propeller dengan skew = 0o, 36o dan 72°.....	12
Gambar.8. Setting open water test dan typical measurement system.....	12
Gambar. 9. Open Water Diagram Wageningen B5-75 series (MARIN).....	14
Gambar 10. Diagram alur penghitungan numerik Propeller.....	15
Gambar 11. Diagram alur Pengujian Open Water Test.....	18
Gambar.12. Relasi verifikasi dan validasi model.....	27
Gambar .13. Diagam open water B-series B5-52.....	28
Gambar .14. Propeller B5-52 dengan software Hydrocomp propcad.....	30
Gambar .15. Model propeller dengan menggunakan solidwork.....	33
Gambar.16. Kolam uji Open water test.....	33
Gambar.17. Diagram open water test Propeller High Skew 45°.....	39
Gambar.19. Diagram open water test propeller dengan skew 0°.....	40
Gambar.20. Diagram open water test propeller dengan skew 36°.....	40
Gambar.21. Diagram open water test propeller dengan skew 72°.....	41
Gambar.18. Diagram open water test propeller dengan skew 108°.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel.1 Performa Propeller B5-52.....	26
Tabel 2. Ukuran utama propeller.....	31
Tabel 3. Kondisi pengujian.....	32
Tabel.4. Nilai J dan Va untuk pengambilan data uji.....	35
Tabel.5. Nilai Thrust dan Torsi hasil pengujian model.....	36
Tabel.6. Perbandingan performa B5-522 dengan High Skew 45°.....	38
Tabel.7. Perbandingan propeller model dengan Cumming RA, Morgan WB, Boswell RJ, 1972, Annual meeting, THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERS.....	41
Tabel.8. Perbandingan daya mesin kapal selam DG120 dengan kapal selam 29 meter.....	42

DAFTAR FOTO

Foto .1. Proses pembuatan model propeller dengan menggunakan CNC.....	28
Foto.2. Model propeller yang akan dilaksanakan pengujian.....	29
Foto.3. Pemasangan model propeller pada dynamometer test.....	33
Foto.4. Proses pengujian model propeller dengan open water test.....	36

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Alhamdulillah hirobbillallamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt yang telah memberikan taufik dan hidayahNya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Desain High Skew Propeller Kapal Selam 29 Meter Dengan menggunakan Metode Numerik Dan Uji Model”. Tesis ini merupakan tugas akhir masa studi dan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Program Pascasarjana Teknologi Kelautan ITS Surabaya.

Dalam proses penyusunan tesis ini tidak terlepas dari dorongan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang setinggi – tingginya kepada :

1. Keluarga tercinta istriku Dr. Aryani Permatasari, Sp.P atas Ketabahannya selama ini.
2. Kepala Staf Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut yang telah memberikan izin kepada Penulis untuk menimba Ilmu di ITS.
3. Komandan Satuan Kapal Ranjau Komando Armada Republik Indonesia Angkatan Laut dan khususnya seluruh Staf Harmat, Kapten Laut (E) I Nengah Sumarjono, Lettu Laut (T) Rahmat S, Lettu Laut (T) Anang B S dan seluruh prajurit Satran Koarmatim.
4. Dosen Pembimbing Bapak DR. Eng I Made Ariana ST, MT. Yang telah bersedia membimbing penyusunan tesis ini dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk konsultasi tesis, berdiskusi, memberi motivasi, koreksi, arahan, pencerahan, serta kepercayaan kepada penulis.
5. Bapak Dr. RO. Saut Gurning ST.,M.Sc, C.Eng, MIMarEST sebagai dosen wali sekaligus sebagai Ketua Kaprodi S2 Sistem dan Pengendalian Kelautan ITS yang telah dengan sabar dan kebesaran hati membimbing kami sampai purna.
6. Bapak Professor Semin Sanuri ST.MT.PhD., Bapak Dr.Eng Trika Pitana, ST., M.Sc, Bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah M.Eng.PhD, Bapak Dr. Ir A.A. Masroeri, M.Eng, Bapak., Bapak

Sutopo Purwono Fitri ST.,M.Eng.,PhD, Bapak Ir. Sardono Sarwito M.Sc..., beserta segenap dosen pengajar PPsTK. Terimakasih untuk kesempatannya berbagi ilmu, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan mendapat balasan dari Allah dengan kebaikan setimpal.

7. Bapak DR. Ir. Taufik, M. Eng selaku Kepala Balai Hidrodinamika Indonesia Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi dan segenap karyawan dan tenaga peneliti di lingkungan BHI BPPT, Bapak Nurwidhi, Bapak Chandra, Bapak Yudi, Bapak Mukharom, Bapak Rokhim, Bapak Agung, yang ada di Lab Open Water Test dan mas Juni Pur yang telah membantu membuat model propeller dan lain – lain yang selama ini banyak membantu kelancaran proses belajar kami, semoga menjadi amal yang dicatat oleh Allah Swt dan mendapat balasan setimpal.
8. DR.Ir. Setyo Leksono, MT,MRINA atas semua bimbingan, arahan dan asupan ilmu yang telah diberikan kepada penulis
9. Bapak Irfan Arif Syarif, ST, MT, Mas Syaifudin, Mas Bintang, dan Mas Arta yang ada di Lab.MMD (*Marine Machinery & Design*) yang sudah mengajari penulis CFD(*Computational Fluid Dynamic*) .
10. Mahendra Indriyanto, ST Teman seangkatan penulis yang banyak membantu dan support atas kelancaran proses belajar kami.
11. Segenap teman Bapak Nurhadi Prasutiyon, Fransisco Pinto (Timor Leste) yang banyak membantu baik moril maupun materiil, dan teman teman kami Mbak Nilam, Mbak Ayu, Mbak Emi, dan adik angkatan kami Bapak Edi, Bapak Darmawan, Mbak Putri, Mas Gusma, Mas Rudianto, Mas Danang Cahyagi,dkk yang banyak membantu
12. Semua pihak yang berjasa membantu dalam menyelesaikan proses belajar kami yang tidak bisa saya sebutkan satu – persatu, terimakasih atas bantuannya selama ini

Semoga beliau – beliau yang saya sebutkan tadi, kebbaikannya kepada kami dibalas oleh Allah Swt dengan yang lebih baik dari segala bantuan, bimbingan,

dukungan, serta doa yang telah diberikan kepada kami selama mengikuti proses belajar di ITS selama ini. Aminn aminn ya robballaallamin.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih jauh dari sempurna, baik dalam bahasan materi maupun dalam teknik penyusunan tesis ini, untuk itu penulis dengan segala kerendahan hati menerima saran dan kritik dari semua pihak demi kesempurnaan tesis ini. Akhirnya penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan geografi berupa kepulauan dan sebagian besar alur perairan dangkal di wilayah Indonesia Barat, menjadikan model peperangan gerilya bawah air layak digelar bila suatu waktu meletus. Dengan latar belakang tersebut, konsep penggunaan kapal selam oleh TNI AL bisa menjadi pilihan tepat, terlebih dari sisi penguasaan teknologi dan pendanaan, sejatinya pembangunan kapal selam oleh industri strategis dalam negeri sudah bisa dilakukan. Konsep kapal selam 29 meter menjadi pilihan tepat karena kapal selam memiliki Kemampuan antara lain (*"Midget DG120"*, *Drass Tecnologie Sottomarine, Livomo, Itali*):

1. Manuver yang lincah
Dengan *Displacement* yang kecil maka kapal selam sangat lincah dibandingkan dengan kapal selam yang ukurannya lebih besar
2. Mampu menjangkau perairan dangkal
Kapal selam mampu beroperasi pada kedalaman 30-60m dimana hal itu sangat sulit dilakukan oleh kapal selam konvensional.
3. Menembakkan torpedo
Kapal selam 29m mampu membawa 2 buah tabung torpedo .533mm
4. Penyebaran ranjau
Kapal selam ini mampu membawa ranjau untuk disebarkan secara *defensif*
5. Misi pengintaian
Karena ukurannya yang kecil kapal selam cocok untuk misi pengintaian bahkan dibelakang garis pertahanan lawan
6. Patroli *defensif* terhadap kapal permukaan dan bawah air wilayah pesisir
Karena displacementnya yang kecil maka kapal selam ini sangat cocok digunakan untuk patroli wilayah pesisir dengan kedalaman 30-60meter.
7. Operasi rahasia
Kapal selam mampu diangkut dengan menggunakan melalui daratan

atau tongkang khusus dan mulai dari lokasi yang berbeda sehingga posisi kapal selam sepenuhnya sulit diprediksi.

Dari sisi teknologi, sejatinya pembangunan kapal selam oleh industri strategis dalam negeri sudah bisa dilakukan. Sedangkan dari segi pembuatan serta pemeliharaan juga lebih kecil dari kapal selam diesel elektrik yang lebih besar. Sebagai salah satu bagian SSAT pengembangan kapal selam terus dilakukan agar Indonesia dapat mandiri dalam pembuatan maupun penguasaan teknologi kapal selam. Salah satu hasil desain kapal selam seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Endang W ,2012, telah mengkaji untuk noise propeller kapal selam.



Gambar 1. Design Kapal selam 22 meter karya Dinas Penelitian dan Pengembangan TNI AL kerjasama dengan BPPT(Sumber militer.or.id, 28 November 2016)

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 (tiga) permasalahan yaitu :

- 1.2.1. Bagaimana merancang propeller kapal selam ukuran 29 meter berbasis B series
- 1.2.2. Bagaimana membuat propeller *high skew* untuk kapal selam ukuran 29 meter berbasis B series.
- 1.2.3. Bagaimana mengetahui karakteristik performance propeller *high skew* untuk kapal selam 29 meter dengan metode numerik dan uji model.

1.3 Batasan Masalah

Dari perumusan masalah yang telah dibuat maka perlu dibuat suatu batasan masalah dalam melakukan penelitian, sehingga dalam penelitian ini akan dibatasi pada beberapa aspek antara lain :

1. Obyek penelitian adalah kapal selam 29 meter pada saat menyelam dan kecepatan maksimal.
2. Fokus penelitian pada desain propeller kapal selam 29 meter untuk mencari performa yang tinggi.
3. Penelitian ini menggunakan *basic design* propeller B series yang dibandingkan dengan propeller *high skew* 45° untuk mencari performa yang tinggi.
4. Uji model dilakukan pada model propeller *high skew* 45° untuk mengetahui karakteristiknya performanya dengan diagram *open water test* menggunakan uji hidrodinamika pada kolam Towing tank untuk mendapatkan performa propeller pada *high skew* 45° , sehingga tidak menggunakan dummy model kapal selam .

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk

1. Menganalisa bagaimana cara merancang propeller kapal selam ukuran 29 meter berbasis B series.
2. Menganalisa bagaimana membuat propeller *high skew* untuk kapal selam ukuran 29 meter berbasis B series.
3. Menganalisa karakteristik performance propeller *high skew* untuk kapal selam 29 meter dengan metode numerik dan uji model.

Manfaat penelitian bagi *engineer* dan mahasiswa adalah sebagai tambahan pengetahuan dalam hal propeller kapal selam 29 meter. Diharapkan penelitian ini menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut sehingga didapatkan sistem propulsi kapal selam yang lebih baik dari segi performanya.

1.5 Hipotesis

Dengan menggunakan tipe B series yang dimodifikasi dengan *high skew* untuk kapal selam 29 meter, di harapkan propeller mampu bekerja dengan performa yang tinggi.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Desain dan pengembangan propeller untuk kapal selam dalam beberapa hal berbeda dari propeller untuk kapal permukaan. Kebutuhan yang paling utama adalah akustik yang rendah. Desain propeller kapal selam lebih mengutamakan Akustik daripada efisiensi. Apalagi dalam pengoperasinya kondisi baling-baling kapal selam sangat berbeda. Berdasarkan beberapa referensi yang ada dalam desain propeller serta di dukung fasilitas Laboratorium Hidrodinamika Indonesia, diharapkan studi numerik dan uji experimental mampu memberi gambaran desain propeller yang sesuai di gunakan untuk kapal selam 29 meter.

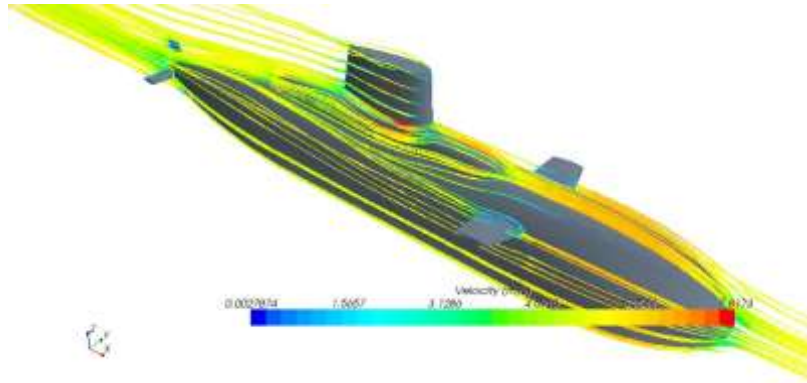
2.1.1 Pengujian Tahanan Model Kapal 22 meter

Erwandi (2011), memaparkan hasil laporan penelitian tentang studi tahanan pada kapal selam 22m. Dimana penelitian tersebut meliputi perhitungan numerik dan uji tahanan di kolam Towing Tank Laboratorium Hidrodinamika Indonesia.

Mengapa perlu di lakukan perhitungan numerik. Hal ini berkaitan dengan Literasi desain lambung kapal selam 22m. Sehingga perlu langkah awal untuk memalkan biaya penelitian. Dimana langkah-langkah dalam perhitungan numerik di lakukan sebagai berikut:

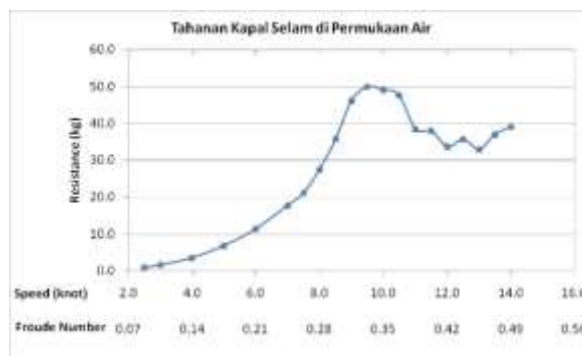
1. Menggambar 3D kapal selam 22m dalam bentuk model dengan skala 1:7
2. Membuat mesh Hexahedral, karena mesh ini di nilai sangat cocok digunakan karena mempunyai tingkat kerapatan yang tinggi pada model 3D

3. Mulai menjalankan program CFD nya sehingga dapat di lihat bentuk aliran vektor distribusi kecepatan pada setiap part lambung kapal selam dan pola aliran streamlinenya



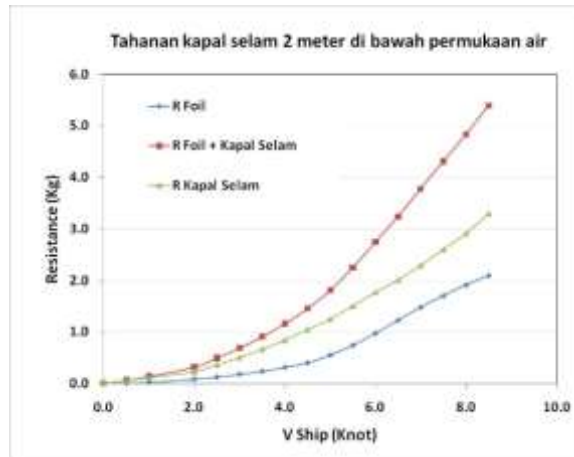
Gambar 2. Aliran streamline pada badan kapal selam

Dari dasar perhitungan CFD tersebut, maka dapat di buat model kapal selam dengan skala 1:7, dan di lakukan uji tahanan di kolam Towink tank. Pada pengujian tahanan dilakukan dalam 2 jenis. Yang pertama pengujian di permukaan air, dan yang kedua pengujian di kedalaman 2 meter di bawah permukaan air. Dimana kedua pengujian di asumsikan pada saat kapal selam pada kondisi snorkle dan pada kondisi operasional bawah air. Sehingga dari pengujian tahan tersebut dapat di lihat karakteristik tahanan kapal selam 22m sebagai berikut,



Gambar 3. Karakteristik tahanan kapal selam di permukaan air terhadap kecepatan

Sedangkan untuk pengujian pada kedalaman 2 meter, di lakukan dengan menggunakan tambahan pemegang Foil. Sehingga dapat disajikan data pengukuran tahanan kapal selam dengan mencari selisih uji tahanan kapal selam + foil di kurangi uji tahanan pada foil saja.



Gambar 4. Karakteristik tahanan kapal selam di bawah air

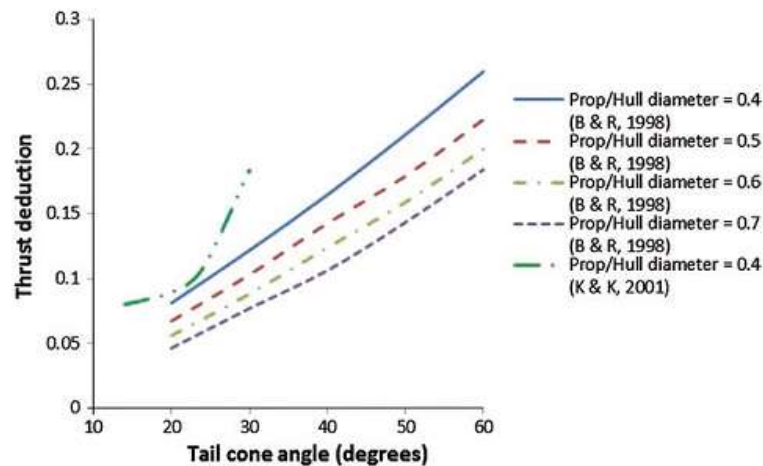
Dari hasil uji tahanan model kapal selam dapat di lakukan perhitungan extrapolasi dengan skala 1:7 untuk mengetahui berapa tahanan kapal selam 22m sebenarnya dalam satuan KN di setiap kecepatan operasional kapal selam tersebut.'

Dari hasil percobaan tersebut penulis dapat menyimpulkan bahwa ada peningkatan harga tahanan kapal selam yang cukup tajam pada desain lambung tersebut yaitu pada kecepatan 9 - 10 knot. Seperti di ketahui bahwa operasional kapal selam pada kisaran 6-10 knot pada kondisi menyelam di bawah air.

Sementara itu ada beberapa hal yang menurut kami perlu dijadikan pertimbangan untuk mendukung penelitian ini antara lain :

- Dari hasil pengujian tahanan model kapal selam 22m tersebut, dapat di gunakan untuk menentukan harga Thrust pada propeller yang akan di desain. Dimana harga Thrust deduction factor dapat di lihat dengan melihat referensi diagram berikut.

$$T = \frac{RT}{(1-t)} \dots\dots\dots[1]$$



Gambar 5. Thrust deduction factor (adopsi dari Burcher dan Rydill 1998, dan Kormilitsin dan Khalizev 2001)

- Pengujian tahanan kapal selam dapat di lakukan juga di *wind tunnel* (terowongan angin) untuk melihat harga tahanan, karena basic dari pengujian ini menggunakan *Reynold's Number* .

2.1.2 Penghitungan Tahanan Kapal Selam dengan menggunakan *MIT Method*

Tahanan kapal selam dihitung dengan menggunakan metode yang telah dikembangkan oleh MIT (Bizzard, C.R, 2008). Metode ini telah diaplikasikan pada *Design Ballistic Defense Submarine SSMBD*. Perhitungan hambatan lambung bawah terendam yang dilakukan didasarkan pada formulasi empiris Gilmer dan Metode Johnson. Koefisien gesekan yang menggunakan faktor koreksi 30% untuk bagian pelengkap. Daya tahan lambung total adalah jumlah tahanan total adalah tahanan Viscousitas, *Correlation allowance* dan tahanan gelombang pada saat di permukaan. Pada tesis ini hanya dibahas tahan pada saat kapal menyelam sehingga hanya menggunakan tahanan *viscousitas* saja.

Perhitungan kebutuhan daya (mesin) kapal selam digunakan metode *Admiral* dengan menggunakan kapal selam pembanding midget 120 buatan *Drass Tecnologie Sotomarine, Italia*

2.2. Dasar teori

2.2.1 Pengembangan Desain Propeller Kapal Selam dengan B-Series Desain

Desain dan pengembangan propeller untuk kapal selam dalam beberapa hal berbeda dari propeller untuk kapal permukaan. Persyaratan yang paling penting untuk propeller kapal selam tingkat keakustikan yang rendah. Dalam desain proses dan langkah-langkah dalam prosedur perancangan meliputi perkiraan kecepatan dan kekuatan serta berat seperti prosedur standar. Fitur utama untuk desain propeller yang dioptimalkan secara akustik adalah pemeriksaan yang sering dilakukan Sifat akustiknya. Umumnya ada empat kondisi yang harus diperhatikan (*Aspects of Propeller Developments for a Submarine*, Poul Andersen, Jens J. Kappel, Eugen Spangenberg, June 2009) :

- Menyelam dalam, berputar dan menyelam
- Kedalaman periskop, menyelam dan dengan akselerasi
- Operasi permukaan dan mode percepatan tinggi
- Snorkeling, di dekat permukaan.

Tesis ini lebih difokuskan pada desain propeller kapal selam 29 meter dengan menggunakan aplikasi seri propeller – B series. Penggunaan serie propeller ini sebagai propulsor kapal selam lebih disebabkan pada kemudahan dan kelengkapan desain yang ditawarkan.

2.1.2 Penambahan Skew Propeller

Menurut Highly Skewed Propellers—Full Scale Vibration Test Results and Economic Considerations N. O. Hammer, THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS AND MARINE ENGINEERS, Paper to be Presented at the Ship Vibration Symposium, October 16–17, 1978 ada beberapa keuntungan dan kerugian dari propeller *high skew* .

Kelebihan propeller *high skew* :

- a. Mengurangi level vibrasi pada kapal
- b. Menambah kenyamanan kapal
- c. Meningkatkan umur peralatan

- d. Usia pakai propeller meningkat karena berkurangnya kavitasi

Kekurangan propeller *high skew* :

- a. Biaya pembuatan lebih mahal dibandingkan dengan propeller konvensional
- b. Lebih rentan terjadi kerusakan pada saat pengoperasian
- c. Berat propeller yang lebih besar sehingga membutuhkan poros ekor yang lebih besar
- d. Kekuatanya kurang memadai

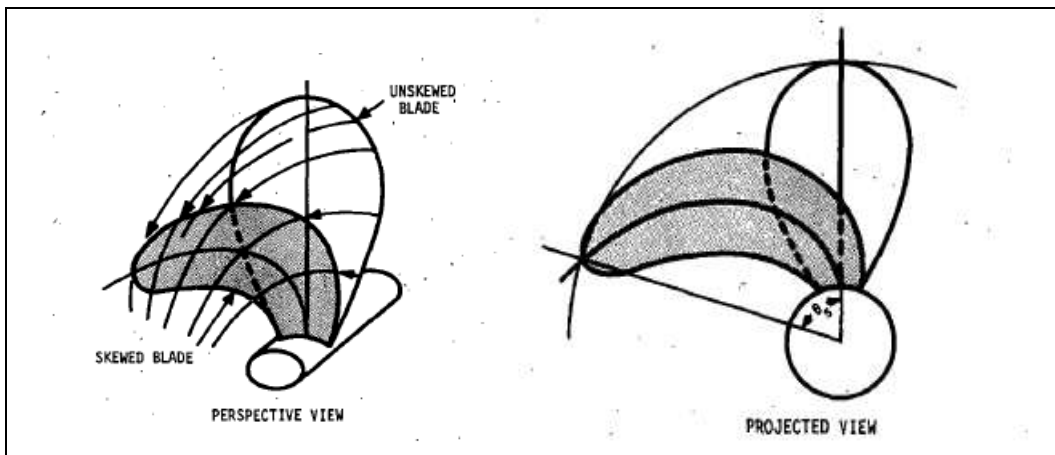
Sedangkan menurut paper *Highly skew propeller* (R.A Cumming, W B Morgan, dan R J Boswell) kelebihan dan kekurangan high skew propeller adalah

Kelebihan high skew propeller :

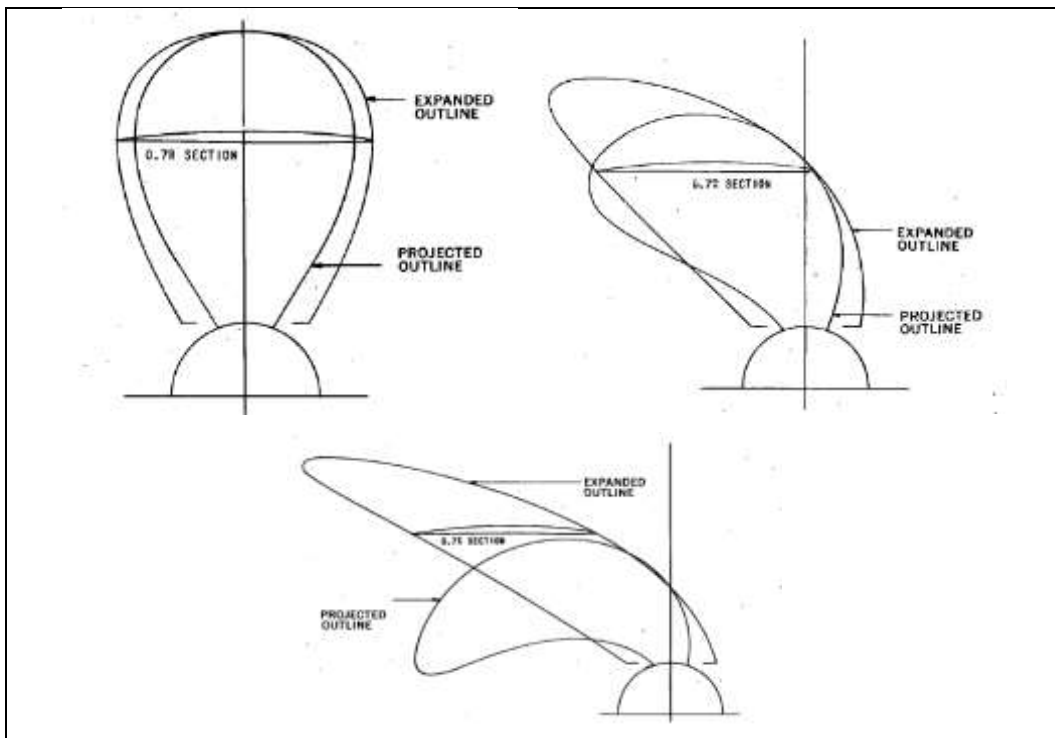
- a. Turunnya Beban bearing thrust block karena thrust dari propeller
- b. Turunkan gaya tekanan goyah yang tidak stabil yang diakibatkan oleh gerakan berputar propeller.
- c. Berkurangnya kerentanan baling-baling terhadap kavitasi pada saat dioperasikan

Kekurangan high skew propeller :

- a. Menurunkan nilai efisiensi
- b. Lebih sulit dalam proses pembuatannya



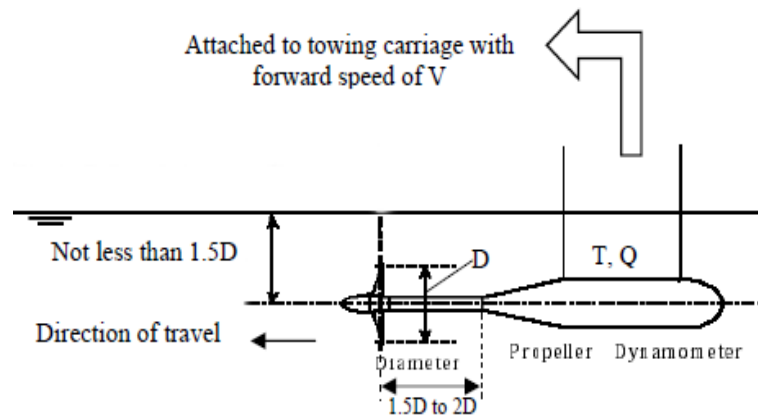
Gambar 6 : Definisi High skew (Highly skew propeller (R.A Cumming, W B Morgan, dan R J Boswell))



Gambar 7 : Propeller dengan skew = 0°, 36° dan 72° (Highly skew propeller (R.A Cumming, W B Morgan, dan R J Boswell))

2.1.3. Metode Percobaan Propeller Open Water Test

Salah satu cara mengestimasi karakteristik baling-baling dengan dilaksanakan tes model di tangki percobaan dengan aliran homogen, dikenal dengan Open Water Propeller Test seperti pada gambar 8.

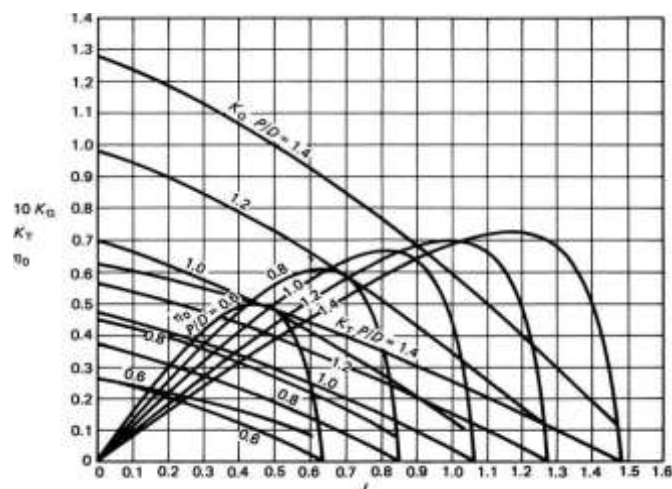


Typical set up for open water tests in a towing tank

Gambar.8. Setting open water test dan typical measurement system

Model baling-baling bekerja diletakkan pada bagian depan fine boat agar diperoleh aliran yang homogen dan tidak terganggu aliran potensial dari fine boat. Kedalaman model terhadap permukaan air seperti dalam gambar. Agar diperoleh spesifik gaya-gaya yang bekerja pada model sama dengan baling-baling sebenarnya (full scale) saat open-water test.

Dari hasil open water akan didapatkan diagram open water seperti contoh pada gambar 9.



Gambar. 9. Open Water Diagram Wageningen B5-75 series (MARIN)

Prosedur pengujian open water test berdasarkan referensi yang di berikan oleh MARIN. Dimana pengujian propeller di lakukan tanpa dummy model kapal selam . Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik propeller yang telah di desain. Sehingga dari hasil performa tersebut dapat di ketahui efisiensi propeller kapal pada putaran operasional.

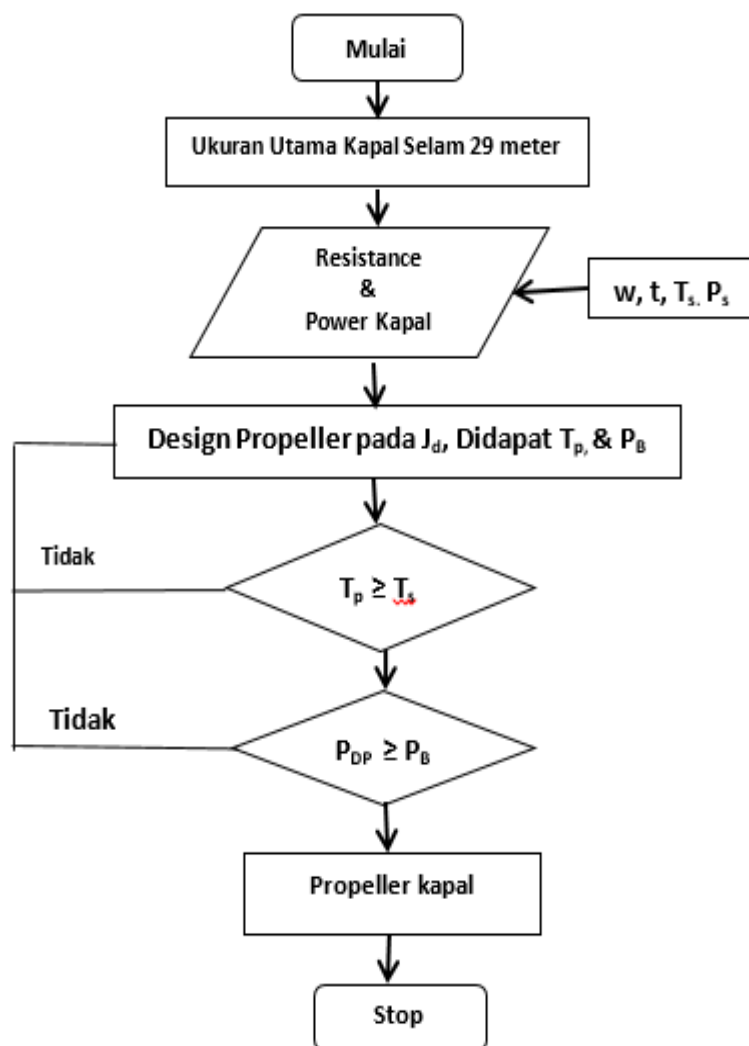
Karena pengujian ini di lakukan di laboratorium, benda dan alat uji harus di lakukan dengan skala, baik dimensi propellernya, putaran propeller, maupun kecepatan carriage.

BAB III

METODOLOGI

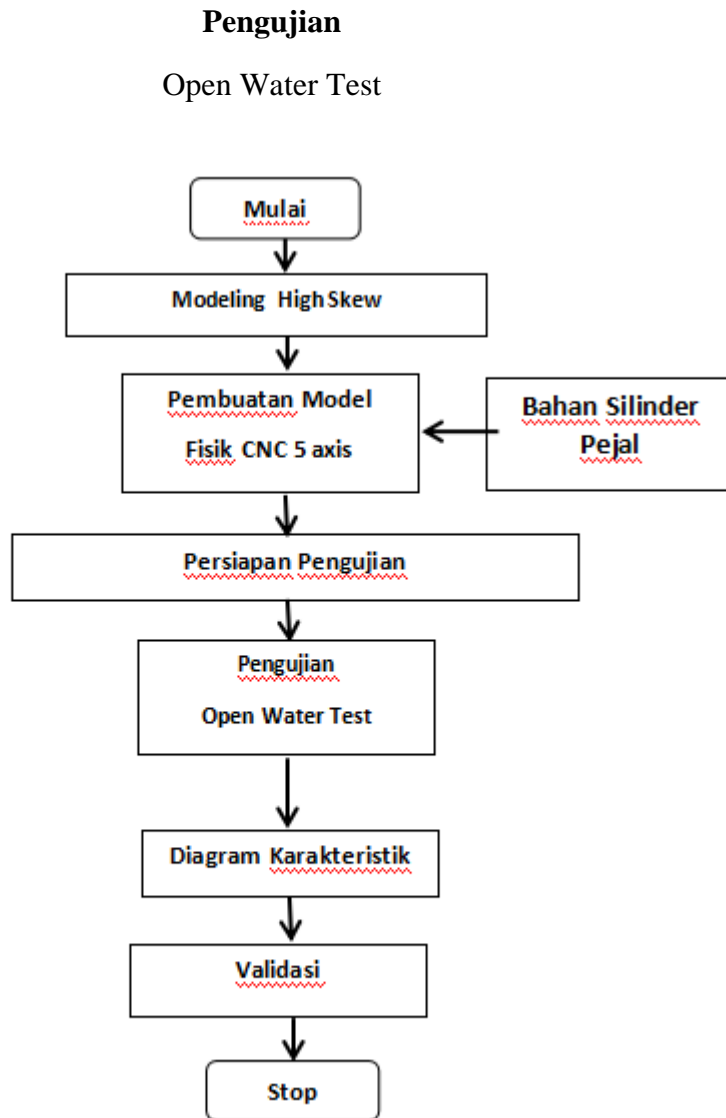
3.1 Metode Penelitian

Diagram alur penghitungan numerik dapat dijelaskan dalam diagram berikut ini :



Gambar 10. Diagram alur penghitungan numerik Propeller

Diagram pengujian open water test dapat dijelaskan pada diagram dibawah ini :



Gambar 11. Diagram alur Pengujian Open Water Test

Penghitungan dimulai dengan menentukan ukuran utama kapal selama 29meter, kemudian dihitung tahanan dan power kapal dengan menggunakan MIT Method sehingga di dapatkan wake nominal, Thrust deduction faktor, Torsi, dan Daya kapal. Kemudian dengan menggunakan diagram open water test yang sudah ada didapatkan nilai J_d (*advance koefisien design*). Dari J_d maka dengan menarik garis lurus pada diagram open water akan didapatkan nilai T_p (Thrust Propeller) dan P_b (Daya Mesin). kemudian jika nilai $T_p \geq T_s$ maka proses diteruskan, Jika tidak

maka proses design propeller pada J_d diulang. Setelah itu jika $P_{DP} \geq P_B$ maka proses design dilanjutkan pada pemilihan propeller tersebut.

Setelah didapatkan ukuran utama propeller maka kemudian dibuatkan model yaitu dengan menskalakan yaitu 1 : 11.5. Ukuran diameter dalam Hub menyesuaikan dengan ukuran Dynometer test yang ada di Kolam Towing Tank LHI. Pembuatan model High skew menggunakan aplikasi PropCAD. Skew yang dipilih adalah 45° karena sudut yang moderat. Setelah dibentuk High skew maka dibuat model 3D dengan menggunakan Rhinoceros. Setelah itu disolidkan dengan menggunakan Solidwork. Kemudian baru dirunning menggunakan CNC 5 axis. Setelah model selesai baru dilaksanakan pengujian dan didapatkan diagram open water test. Kemudian divalidasi.

Obyek penelitian adalah kapal selam 29 m dengan data-data teknis sebagai berikut,

Design speed (Jelajah)	: 8.00[knots]
LOA	: 29 meter
Diameter Hull	: 3 [meter]
Displacement	: 150000 [kg]
RPM Engine	: 270.0[1/Min] 4.5 Hz
Diameter propeller	: 1.450 [m]
Jumlah daun propeller	: 5 [-]

Kondisi lingkungan :

Kondisi lingkungan diasumsikan sebagai berikut :

1. Aliran airnya laminar.
2. Kepadatan air didistribusikan secara merata di sekitar kapal selam di bawah air.
3. Tekanan air didistribusikan secara merata di sekitar kapal selam.
4. Suhu : 30°C
5. Berat Jenis air laut : 1025 kg/m^3
6. Kinematic viscosity : $8.43\text{E-}07 \text{ m}^2/\text{dt}$

Tahanan kapal selam dihitung dengan menggunakan metode yang telah dikembangkan oleh MIT (Bizzard, C.R, 2008). Metode ini telah diaplikasikan pada Design Ballistic Defense Submarine SSMBD.

Perhitungan kebutuhan daya (mesin) kapal selam digunakan metode Admiral dengan menggunakan kapal selam pembanding midget 120 buatan Drass Tecnologie Sotomarine, Italia , dengan data-data sebagai berikut:

LOA	: 28.20m
Displacement	: 130Ton
Kecepatan maksimal menyelam	: 9 knot
Motor Pendorong pokok	: 220KW
Diameter Hull	: 2.3 meter

3.2. Prosedur Penelitian

Simulasi karakteristik baling-baling *skew* untuk pengembangan sistem propulsi kapal dalam penelitian ini akan dilakukan dan diuraikan dibawah ini :

a. Studi Literatur

Pada awalnya tahanan kapal selam 29 meter dihitung dengan menggunakan metode yang telah dikembangkan oleh MIT (Bizzard, C.R, 2008). Metode ini telah diaplikasikan pada Design Ballistic Defense Submarine SSMBD. Studi literatur didapatkan dari jurnal-jurnal tentang desain kapal selam dan propeller *high skew*. Pengumpulan data ukuran sudut skew yang optimum dari penyedia produk baling-baling yang sudah dipasarkan, dll.

b. Survei dan pengumpulan data

Survei dan pengumpulan data peralatan untuk percobaan dalam penelitian ini dilakukan pada laboratorium *open water test* propeller yang tersedia seperti laboratorium Hidrodinamika Indonesia, mesin CNC 5 axis guna menunjang simulasi fisik yang berkaitan dengan karakteristik baling-baling kapal.

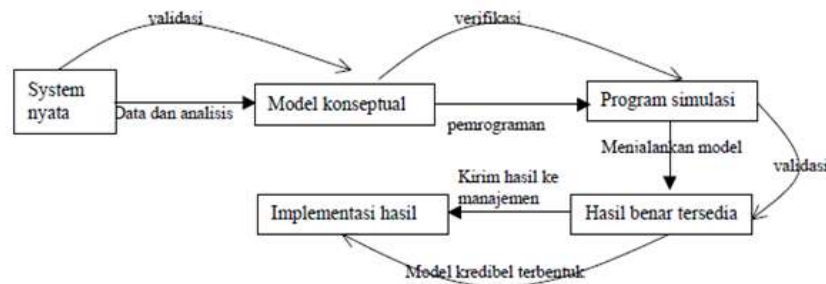
c. Pemodelan Fisik dan Numerik

Proses pemodelan akan dilakukan dengan membuat model secara fisik dan model numerik secara 3D dengan menggunakan *HydroComp Propcad*. Hasil pemodelan *HydroComp Propcad* kemudian dimasukkan software Rhinoceros. Kemudian di solidkan dengan Solidwork. Hasil model propeller dengan sudut

skew yang didapatkan kemudian akan dibuatkan model dengan skala 1 : 11.5 dengan bahan paduan tembaga menggunakan CNC 5 axis, selanjutnya dilakukan uji *open water test* yang akan dilaksanakan di Balai Hidrodinamika Indonesia Badan Penerapan dan Pengkajian Teknologi (BHI BPPT) di Surabaya untuk menghitung performanya dibandingkan dengan tanpa skew.

d. Validasi Model

Validasi model dapat dilakukan dengan mengevaluasi hasil simulasi model fisik dan model numerik. Validasi model baik fisik dan numerik kemudian dilakukan dengan cara membandingkan hasil uji simulasi fisik dengan uji simulasi numerik dengan mencari korelasi atau hubungan kedua hasil simulasi tersebut seperti pada gambar 3.2.



Gambar.12. Relasi verifikasi dan validasi model

3.3. Dampak yang diharapkan secara ilmiah atau sosial ekonomi

Penelitian ini diharapkan dapat :

1. Mengetahui seberapa besar performance desain propeller yang telah di hasilkan agar mampu menggerakkan kapal selam 29 meter pada kecepatan yang di tetapkan, sehingga di harapkan mampu memalkan penggunaan daya pada kapal selam tersebut.
2. Dapat digunakan sebagai salah satu referensi pengambil kebijakan jika ada pembangunan kapal selam di Indonesia dan juga digunakan sebagai dasar penelitian serta pengembangan desain propeller selanjutnya, khususnya propeller kapal selam.

3. Manfaat penelitian bagi enginer dan mahasiswa adalah sebagai tambahan pengetahuan dalam hal propeller kapal selam . Diharapkan penelitian ini menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut sehingga didapatkan sistem propulsi kapal selam yang lebih efisien.

Produk dari penelitian ini memungkinkan kita untuk :

1. Memberikan gambaran cara merancang propeller kapal selam ukuran 29 meter berbasis B series.
2. Memberikan gambaran bagaimana membuat propeller *high skew* untuk kapal selam ukuran 29 meter berbasis B series.
3. Memberikan gambaran karakteristik performance propeller *high skew* untuk kapal selam 29 meter dengan metode numerik dan uji model.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV. 1. Penghitungan Tahanan dan Daya Mesin

IV.1.1. Penghitungan Tahanan

Obyek penelitian dalam tesis ini adalah kapal selam 29 m dengan data-data teknis sebagai berikut :

Design speed (Jelajah)	: 8.00[knots]
LOA	: 29 meter
Diameter Hull	: 3 [meter]
Displacement	: 150000 [kg]
RPM Engine	: 270.0[1/Min]
	4.5 Hz
Diameter propeller	: 1.450 [m]
Jumlah daun propeller	: 5 [-]

Kondisi lingkungan :

Suhu	:30°C
Berat Jenis air laut	: 1025 kg/m ³
Kinematic viscosity	:8.43E-07 m ² /dt

Tahanan kapal selam dihitung dengan menggunakan metode yang telah dikembangkan oleh MIT (Bizzard, C.R, 2008). Metode ini telah diaplikasikan pada Design Ballistic Defense Submarine SSMBD.

Perhitungan kebutuhan daya (mesin) kapal selam digunakan metode Admiral dengan menggunakan kapal selam pembanding midget 120 buatan Drass Technologie Sotomarine, Italia , dengan data-data sebagai berikut:

LOA	28.20m
Displacement	130Ton
Hull Diameter	2.3 meter
Kecepatan maksimal menyelam	9 knot
Motor Pendorong pokok	220KW

Desain propeller kapal selam 29 dilakukan seperti termaktub pada Kuiper, G, 1992.

Dengan menggunakan Resistance Calculations MIT Method dapat di jelaskan dengan beberapa persamaan di bawah ini:

$$i_{iii} = 8 \text{ knot}$$

$$i = 1 \dots i_{iii}$$

$$V_i = (i - 1) * knt + V_e \dots \dots \dots (1)$$

$$V_e = 1 \text{ knot (kecepatan awal)}$$

$$Knt \text{ (increment)} = 1 \text{ knot}$$

$$V_{iii} = 8 \text{ knot}$$

Sehingga di dapatkan nilai V_i adalah 4.116 m/dt

Asumsi :

$$N_f = 2.0 \text{ (Fullness factor 2.0-3.5)}$$

$$N_a = 2.5 \text{ (Fullness factor aft 2.5-4)}$$

Correlation Allowance

Correlation Allowance Resistance :

$$RA_i = 5 * \rho SW(V_i)^2 S * C_A \dots \dots \dots (2)$$

S : Luasan tercelup (m^2)

$$C_A : \text{Coeffisien admiralty} \quad 0.0007071$$

$$RA_i = 12.243 \text{ KN}$$

Sehingga dari perhitungan didapatkan nilai

Viscous resistance

Form Factor diambil dari Gilmer dan Johnson didapatkan

$$Formfac = 1 + 5 * \frac{B}{LOA} + 3 * \left(\frac{BA = \pi r^2 x^2}{LOA} + 3 * \left(\frac{B}{n} \right)^{\left(7 - n \frac{na}{2} \right)} \dots \dots \dots (3)$$

Didapatkan nilai Form Factor = 1.517

Reynold's number :

$$RNi = LOA * \frac{Vi}{SW} \dots \dots \dots (4)$$

Didapatkan nilai R_{Ni} : 1.42.E+08

Coefficient of Friction, ITTC :

$$CFi = 1 + \frac{0.075}{(\log RNi - 2)^2} \dots \dots \dots (5)$$

Didapatkan nilai C_{fi} : 1.98.E-03

Viscositas Resistance :

$$RVi = 0.5 * \rho SW * (Vi)^2 S * CFi * Formfac \dots \dots \dots (6)$$

Didapatkan nilai R_{vi} : 5.21KN

$$RTi = RVi + R_{Ai} \dots \dots \dots (7)$$

Dari perhitungan perhitungan di atas didapatkan nilai total tahanan adalah

$$\begin{aligned} RTi &= 12.243 + 5.21 \\ &= 17.450 \text{ KN} \end{aligned}$$

IV.1.2. Perhitungan Thrust

Untuk menghitung Thrust yang dibutuhkan kapal selam untuk bergerak 8 knot, dilakukan perhitungan – perhitungan sebagai berikut,

Coeffisient Waterplane ship

$$C_{ws} = 1 + \frac{S}{\pi * LOA * D} \dots \dots \dots (8)$$

Didapatkan nilai C_{ws} : 0.730105

Nilai Wake friction

$$w = 1 - 0.371 - 1.7151 * \frac{\frac{Dp}{D}}{\sqrt{C_{ws} * \frac{LOA}{D}}} \dots \dots \dots (9)$$

Didapatkan nilai w : 0.317

Nilai thrust deduction factor

$$t = 1 - 0.623 - 1.3766 * \frac{\frac{Dp}{D}}{\sqrt{C_{ws} * \frac{LOA}{D}}} \dots \dots \dots (10)$$

Nilai thrust deduction factor didapatkan 0.272

$$V_a = V * (1 - w) \dots \dots \dots (11)$$

Nilai V_a didapatkan 2.811 m/s

Dengan nilai yang didapatkan pada persamaan (10) maka, dapat dihitung nilai Thrust kapal

$$T = \frac{RT}{(1 - t)} \dots \dots \dots (12)$$

Sehingga didapatkan nilai total thrust yang dibutuhkan kapal selam sebesar 23.986 KN

Perhitungan Daya Effektiv (EHP) kapal selam

Power Bare hull

$$P_{EBHi} = R_{Ti} * V_i \dots \dots \dots (13)$$

Didapatkan nilai P_{EBHi} : 71.817 KW

Nilai *appendage Resistance*

$$P_{EAPPi} = 0.3 * P_{EBHi} \dots \dots \dots (14)$$

Sehingga didapatkan nilai P_{EAPPi} = 21.545 KW

Nilai *Effective Horse Power*

$$EHP_i = P_{EBHi} + P_{EAPPi} \dots \dots \dots (15)$$

Dengan demikian Daya Efektiv (EHP) kapal selam 29 m sebesar 93.362 KW

IV.1.3. Perhitungan Daya Mesin (BHP)

Dengan menghitung besarnya koefisien Admiral kapal pembanding, besarnya Daya Mesin kapal selam 29 m dapat ditentukan.

Koefisien Admiral kapal pembanding ,

$$Ac = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} * V^3}{Ne} \dots \dots \dots (16)$$

Didapatkan nilai AC kapal pembanding 1.158

Dengan memakai hukum kesamaan, bahwa Koefisien Admiral kapal yang akan dihitung sama dengan kapal pembanding, maka didapatkan nilai BHP kapal dalah 170.5 kW.

IV.1.4. Penghitungan Desain Propeller

Berdasar pada perhitungan-perhitungan di atas yang meliputi tahanan kapal selam, thrust yang dibutuhkan, serta besarnya mesin yang disediakan maka desain propeller kapal selam 29 dilakukan dengan menggunakan propeller B-series. Pemilihan propeller didasarkan pada grafik open water test diagram yang telah ada, dimana untuk pemilihan propellernya menggunakan type propeller B-series 5 (lima) daun dengan beberapa variasai blade area ratio (BAR) seperti yang dipresentasikan pada tabel 1.

Dengan menggunakan pendekatan nilai advance coefficient ratio (J) pada persamaan (17), maka propeller kapal selam 29 m bekerja pada nilai J sebesar 0.431. Nilai ini merupakan J desain propeller kapal selam 29 m dan digunakan sebagai patokan dalam penentuan harga P/D, Kt, dan Kq pada tiap-tiap tabel open water yang digunakan.

$$J = \frac{Va}{n * D} \dots \dots \dots (17)$$

$$T = Kt * \rho * n^2 * D^4 \dots \dots \dots (18)$$

$$Q = K_q * \rho * n^2 * D^5 \dots \dots \dots (19)$$

$$P_{dp} = 2 * \pi * Q * n \dots \dots \dots (20)$$

Sehingga dengan dasar J_d tersebut dan formula 18, 19, 20 serta dengan menggunakan diagram open water propeller B-series, maka didapatkan beberapa harga seperti yang terlihat pada Tabel 1.

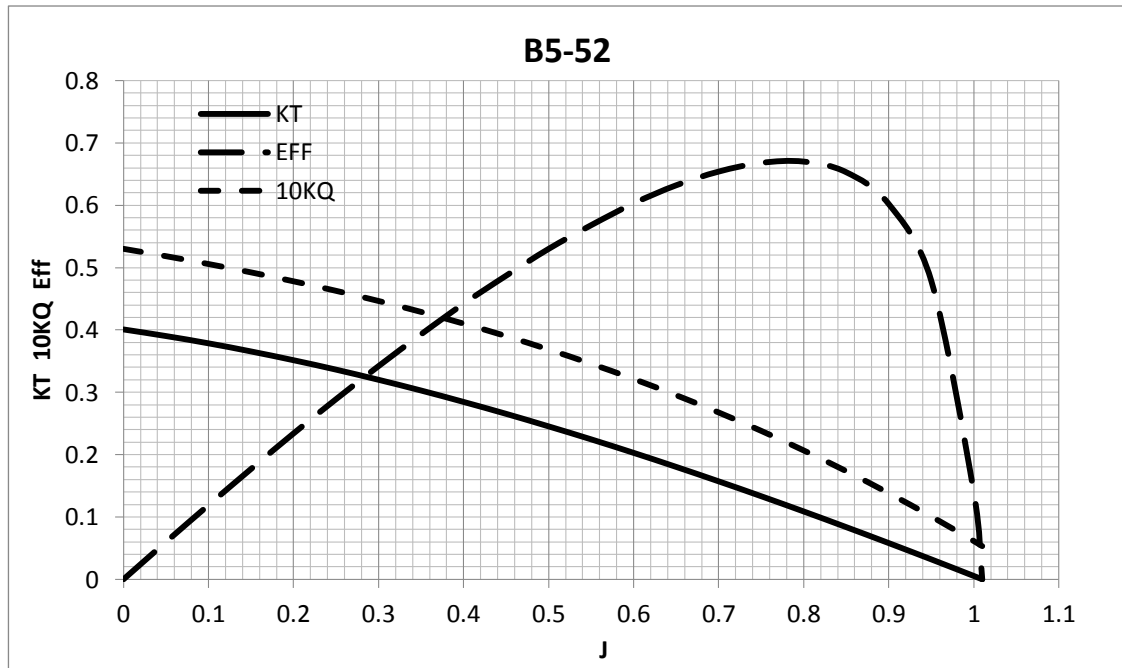
Tabel.1 Performa Propeller B5-52

Type prop	P/D	KT	KQ	T (N)	Q (Nm)	DHP (KW)
B5-45	0.9	0.26	0.036	23855.81	4789.51	135.35
B5-52	0.9	0.265	0.037	24314.58	4922.56	139.11
B5-60	0.9	0.27	0.038	24773.35	5055.60	142.87
B5-75	0.9	0.28	0.039	25690.88	5188.64	146.63
B5-90	0.9	0.27	0.039	24773.35	5188.64	146.63
B5-105	0.9	0.028	0.04	2569.09	5321.68	150.39

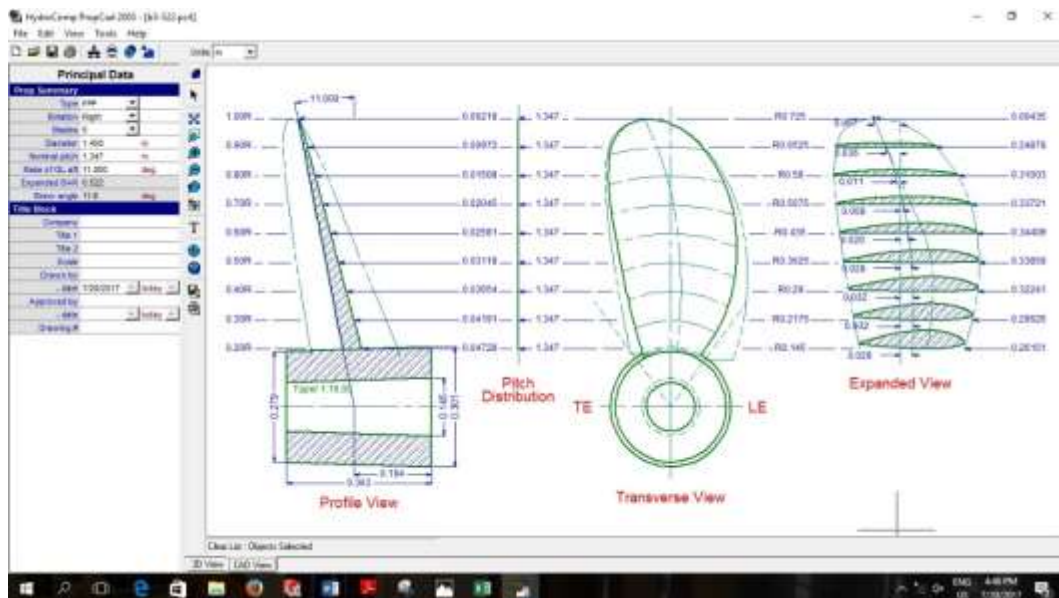
Dari Tabel 1 tersebut akan dipilih propeller mana yang memenuhi kriteria kebutuhan thrust dan kebutuhan mesin kapal selam 29 m. Pada perhitungan thrust kapal (T_s) sesuai persamaan (12) didapatkan harga 23.98 KN, maka pada saat pemilihan propeller, thrust yang dihasilkan propeller (T_p) harus lebih besar bila dibandingkan thrust yang dibutuhkan kapal selam (T_s), jadi $T_p \geq T_s$. Pada pemilihan propeller B5-52 didapatkan harga thrust sebesar 24.314 KN sehingga dapat dikatakan bahwa besaran thrust propeller lebih besar 1.393 % daripada thrust yang di butuhkan kapal pada kecepatan 8 knot. Sedangkan dengan menggunakan mesin pembanding dengan kapal selam yang hampir sama di dapatkan nilai koefisien admiral (C_A) pada persamaan (16) sebesar 1.158. maka pendekatan BHP mesin (P_B) yang akan di pasang pada kapal selam 29 m adalah 170 KW. Sedangkan persyaratan kapal selam 29m untuk mendorong pada kecepatan 8 knot di bawah air adalah $P_s \geq P_{Dp}$. Dari tabel.1 dengan menggunakan propeller B5-52 di dapatkan harga P_{Dp} sebesar 139.11 KW. Dengan kata lain mesin yang terpasang pada kapal selam 29m lebih besar 18.23 % terhadap

kebutuhan Power delivery (PD) propeller B5-52 yang beroperasi pada kecepatan 8 knot di bawah air.

Dengan demikian dari perhitungan-perhitungan di atas dapat di pilih type propeller B5-52 sebagai propulsor kapal selam karena memenuhi kriteria-kriteria yang dibutuhkan kapal selam 29 m. Adapun grafik open water serta profile propeller B5-52 berturut-turut di tampilkan seperti Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar .13. Diagram open water B-series B5-52

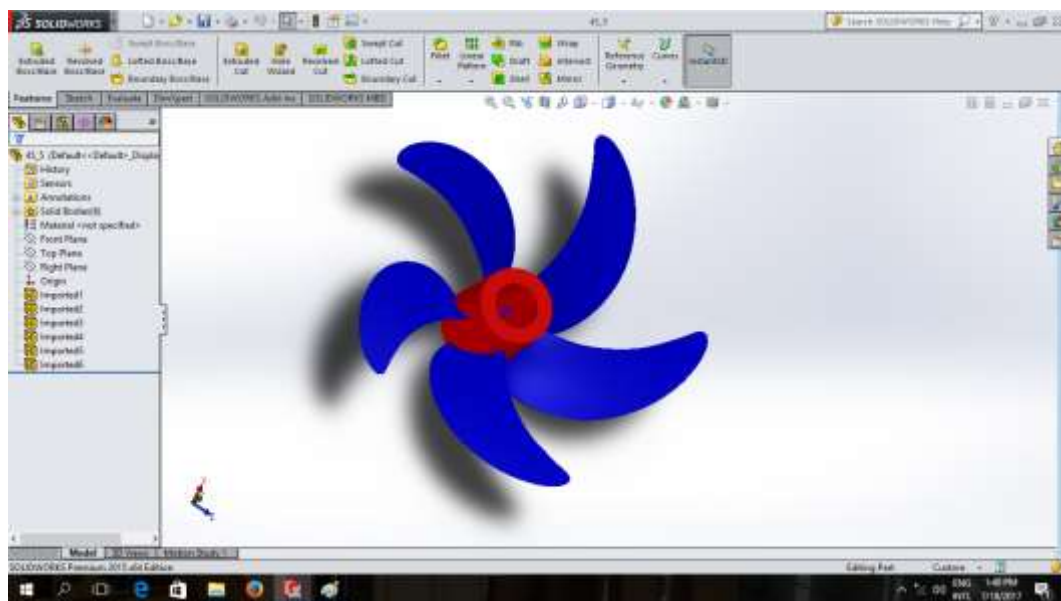


Gambar .14. Propeller B5-52 dengan software Hydrocomp propcad

IV. 2. Pembuatan Model High skew Propeller

Setelah didapatkan model propeller yang sesuai dengan kapal selam maka di buat high skew. Pembuatan High skew pada 45° dengan pertimbangan sudut yang moderat. Pembuatan high skew ini dibantu dengan menggunakan software HydroComp PropCad.

Setelah di high skew maka kemudian di buat 3 Dimensi dengan Rhinoceros. Kemudian di solidkan dengan software Solidwork. Setelah disolidkan maka dimasukkan ke CNC untuk dibuat model.



Gambar .15. Model propeller dengan menggunakan solidwork

Setelah di running dengan menggunakan PC dan bias digunakan maka model propeller dengan bentuk tabung pejal dipasang pada dudukan meja CNC. Kelebihan menggunakan CNC adalah tingkat ketelitiannya yang mencapai $1/1000\text{mm}$ sehingga model propeller menjadi lebih presisi.



Foto .1. Proses pembuatan model propeller dengan menggunakan CNC



Foto.2. Model propeller yang akan dilaksanakan pengujian

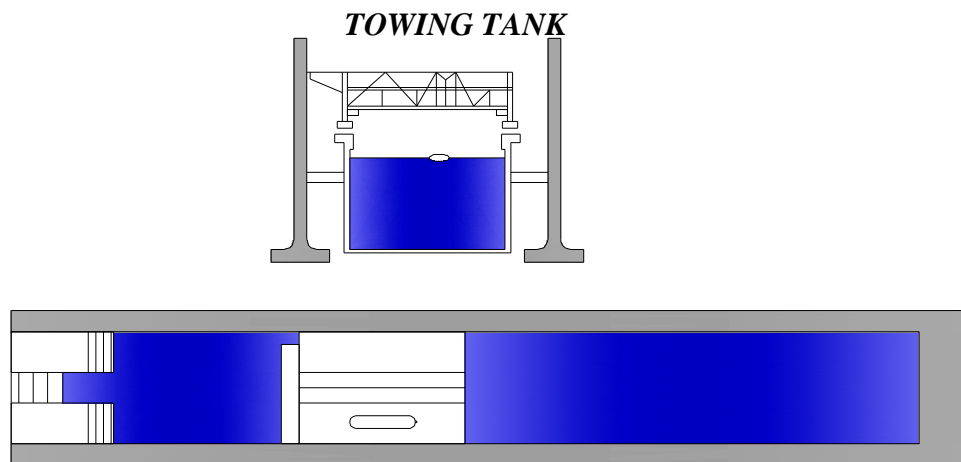
IV. 3. Pengujian Open Water Test

IV.3.1. Pengujian Open Water Propeller Model Kapal Selam 29 meter

Pengujian *open water propeller* adalah pengujian *performance* model *propeller* di mana kondisi aliran air yang masuk ke *propeller* tidak terhalang oleh lambung dan sepenuhnya dikelilingi oleh air. Pengujian *open water* dari sebuah *propeller* dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik *propeller*. Data karakteristik *propeller* ini digunakan dalam analisa propulsi dalam rangka untuk mengetahui besar tenaga penggerak yang digunakan oleh kapal. Secara terperinci pengujian *open water propeller* dimaksudkan untuk menentukan nilai diagram *open water* dari *propeller* mulai dari $J=0$ (kecepatan 0) sampai dengan nilai $K_T=0$

(daya dorong=0). Prosedur pengujian open water test berdasarkan referensi yang di berikan oleh MARIN. Dimana pengujian propeller di lakukan tanpa dummy model kapal selam . Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik propeller yang telah di desain. Sehingga dari hasil performa tersebut dapat di ketahui performance propeller kapal selam pada putaran operasional.

Pelaksanaan uji open water telah dilaksanakan di towing tank Balai Hidrodinamika Indonesia pada hari sabtu, 15 juli 2017.



Gambar.16. Kolam uji Open water test

Dimension	: 234.5 m including harbor, X 11.0 m. Water Depth 5.5 m
Carriage	: Manned, motor drive, four drive wheels
Drive System	: Thyristor controlled DC motors
Max Acceleration	: 1 m/sec^2
Max Speed	: 5 m/sec
Other Capabilities	: Horizontal planar motion mechanism set up
Instrumentation	: - Resistance dynamometer - Trim meter - Open water propeller dynamometer

- 2 Self propulsion dynamometer, 2.5 Nm rated torque
- 2 Self propulsion dynamometer, 1.6 Nm rated torque
- Wake measurement apparatus
- Ship movement meter
- Pressure transducers for pressure variation
- Pressure transducers for pressure slamming
- Force and bending moment transducers

Data Acquisition & : - LABVIEW

- Analysis System
- 16 measurement channels
 - Maximum sample frequency of 100 Hz
 - Data recording

IV.3.2. Model Propeller

Model propeller dibuat berdasarkan skala dari propeller dengan ukuran seperti pada tabel.2.

Tabel 2. Ukuran utama propeller

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Diameter</i>	D	1.45	m
<i>Pitch at Diameter Ratio</i>	-	0.977	
<i>Expanded blade area ratio</i>	A_E / A_0	0.522	
<i>Numbers of blade</i>	Z	5	Daun

Bahan model *propeller bronze*

Sebelum dilakukan pengujian harus dilakukan inspeksi terhadap model propeller kapal selam :

- a. Ukuran utama

- b. Konfigurasi bentuk blade propeller
- c. Bentuk hub propeller
- d. Pengukuran Berat dan hub propeller
- e. Balancing model propeller

Faktor skala, $\lambda = 11.5$.

Karena pengujian ini dilakukan di laboratorium, benda dan alat uji harus dilakukan dengan skala, baik dimensi propellernya, putaran propeller, maupun kecepatan carriage. Kondisi kesamaan geometri adalah apabila model *propeller* mempunyai kesamaan bentuk dengan *propeller* kapal dengan semua aspek dimensi diturunkan oleh faktor skala yang sama, λ .

IV.3.3. Pelaksanaan pengujian *open water test*

Tabel 1. Kondisi pengujian

Jenis Pengujian	Kecepatan Carriage (m/det)	Kecepatan putar model (RPS)
Open water	0 – 2.71	20

Adapun dalam pengujian *open water* berikut beberapa parameter yang harus diukur :

1. Kecepatan aliran air (V_A)
2. *Thrust propeller* (T)
3. *Torque propeller* (Q)
4. Putaran propeller (RPS)

Pelaksanaan pengujian *open water* menggunakan instrumen *open water propeller dynamometer*. Dalam *dynamometer* terdapat alat ukur yang dapat mengukur:

1. *Thrust*
2. *Torque*
3. RPS *propeller*

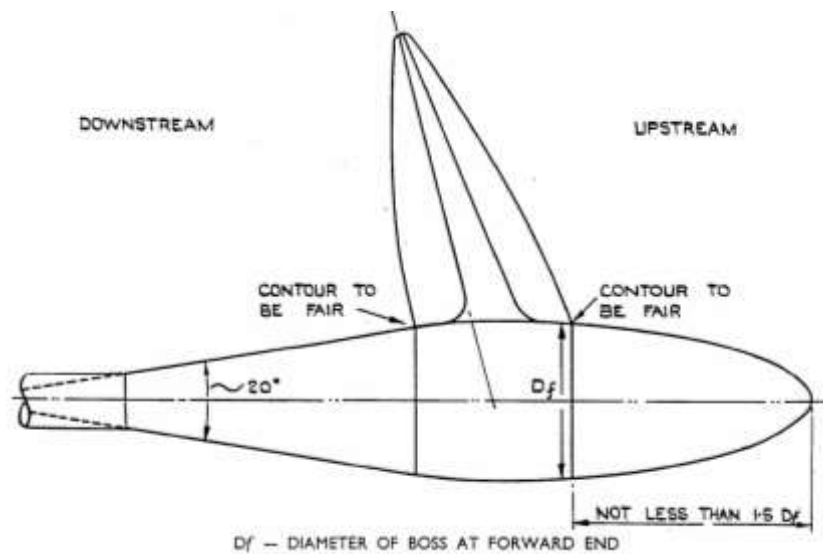
Pelaksanaan pengujian open water test :

1. Model *propeller* dibuat berdasarkan perosedur standar yang telah ditentukan oleh ITTC
2. Model *propeller* dipasang pada poros penggerak dynamometer test



Foto.3. Pemasangan model propeller pada dynamometer test

3. Panjang dari *cap propeller* secukupnya dan berbentuk *streamline*, sehingga aliran air yang masuk ke hub propeller tidak terganggu.(lihat Gambar 1)
4. Dimensi kolam harus cukup untuk menghindari timbulnya gangguan aliran air.
5. Sambungan antara *cap* dan *hub* harus mulus dan tidak ada jarak dan tanpa celah.
6. Untuk menghilangkan naiknya tekanan pada sisi depan *hub* dan rumah poros bagian berputar dari *hub* harus diposisikan sedemikian rupa untuk menghindari naiknya tekanan



Gambar 16. Geometri dari *fairing* model propeller

Sebelum dilakukan pengujian perlu dilakukan persiapan pengujian termasuk instalasi atau *set-up* pengujian *open water* (lihat Gambar 2). Adapun prosedur yang harus dilakukan sebelum tes adalah sebagai berikut :

1. Sebelum pengujian, maka dilakukan terlebih dahulu pra uji untuk mengetahui *streamline* dari *cap propeller*. Pengukuran ini harus dilakukan pada *hub propeller* tanpa daun *propeller*
2. Sebelum dan setelah dari setiap seri pengujian, dilakukan pengukuran nol (*zero measurement*), untuk memastikan tidak ada penyimpangan.
3. Setiap pengujian, daya dorong, torsi, putaran *propeller* dicatat secara bersamaan.
4. Kisaran koefisien muka harus meliputi rentang dari $J=0$ sampai $KT<0$, dalam rangka untuk menentukan secara akurat titik di mana $KT=0$.
5. Harus ada waktu jeda yang cukup antara dua pengujian untuk mencapai kondisi yang sama dan mendapatkan hasil yang konsisten.

Sebelum dilaksanakan pengujian, perlu dilakukan percobaan dengan menggunakan *propeller* tanpa melakukan pengukuran data untuk meyakinkan bahwa kondisi air didalam kolam uji sudah merata untuk seluruh untuk dilakukan pengujian. Karakteristik *open water propeller* model *high skew* disajikan dalam bentuk *non dimensional*

Beberapa parameter digunakan dalam melakukan pengujian *open water propeller* dan analisa hasil sebagai berikut :

$$\text{Thrust Coefficient} : K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \dots\dots\dots(22)$$

$$\text{Torque Coefficient} : K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \dots\dots\dots(23)$$

$$\text{Propeller Efficiency} : \eta_0 = \frac{J \cdot K_T}{2\pi K_Q} \dots\dots\dots(24)$$

$$\text{Advanced Coefficient} : J = \frac{V_A}{n \cdot D} \dots\dots\dots(25)$$

Dimana V_A : kecepatan Carriage

n : Jumlah putaran dalam menit yaitu 1200 RPM

D : Diameter model propeller yaitu 0.126 meter

Variasi yang dilakukan pada pengujian ini adalah kecepatan Carriage. Hal ini karena diameter model dan jumlah putaran tetap. Pelaksanaan pengujian dimulai dari kecepatan Carriage “0” m/detik. Hal ini untuk menghitung thrust maksimal yang dihasilkan oleh model propeller pada saat nilai $J = 0$. Kemudian divariasikan nilai J nya sampai dengan kemampuan maksimal Carriage. Pada pengujian ini kecepatan maksimal yang digunakan adalah 2.7 m/detik.

Kalibarsi ini di gunakan pada dynamometer H-39, tujuan kalibrasi ini adalah untuk memberikan output atau besaran gaya yang terukur oleh alat tersebut. Untuk itu wajib di lakukan kalibrasi sebelum dilakukan pengujian open water test. Kalibrasi ini dilaksanakan dengan cara memutar dynometer secepat mungkin. Hal ini untuk menguji dynometer masih berfungsi normal. Hal ini juga bertujuan agar hasil pengujian seakurat mungkin. Dynometer di Balai Hidrodinamika Indonesia

berkapasitas 1000N sedangkan Thrust yang diukur sangat kecil sehingga agar nilai yang didapat seakurat mungkin maka dynamometer diputar setinggi-tingginya. Namun dalam memaksimalkan kecepatan carriage dibatasi oleh panjang kolam yaitu 234 meter sehingga nilai J yang akan dilaksanakan seperti tabel.4. :

Tabel.4. Nilai J dan Va untuk pengambilan data uji.

No	J	V Carriage (m/s)	Rps	Rpm
-	0	0	20	1200
1	0.1	0.263	20	1200
2	0.2	0.521	20	1200
3	0.31	0.782	20	1200
4	0.41	1.043	20	1200
5	0.51	1.303	20	1200
6	0.62	1.564	20	1200
7	0.73	1.854	20	1200
8	0.82	2.084	20	1200
9	0.87	2.215	20	1200
10	0.93	2.345	20	1200
11	1.07	2.71	20	1200

Setelah semua prosedur dilalui maka proses pengujian dimulai dan dicatat.



Foto.4. Proses pengujian model propeller dengan open water test

Pelaksanaan pengujian open water propeller dapat dilihat pada foto 4. Adapun hasil uji open water propeller dapat dilihat pada table

2.3.4. Hasil pengujian open water test

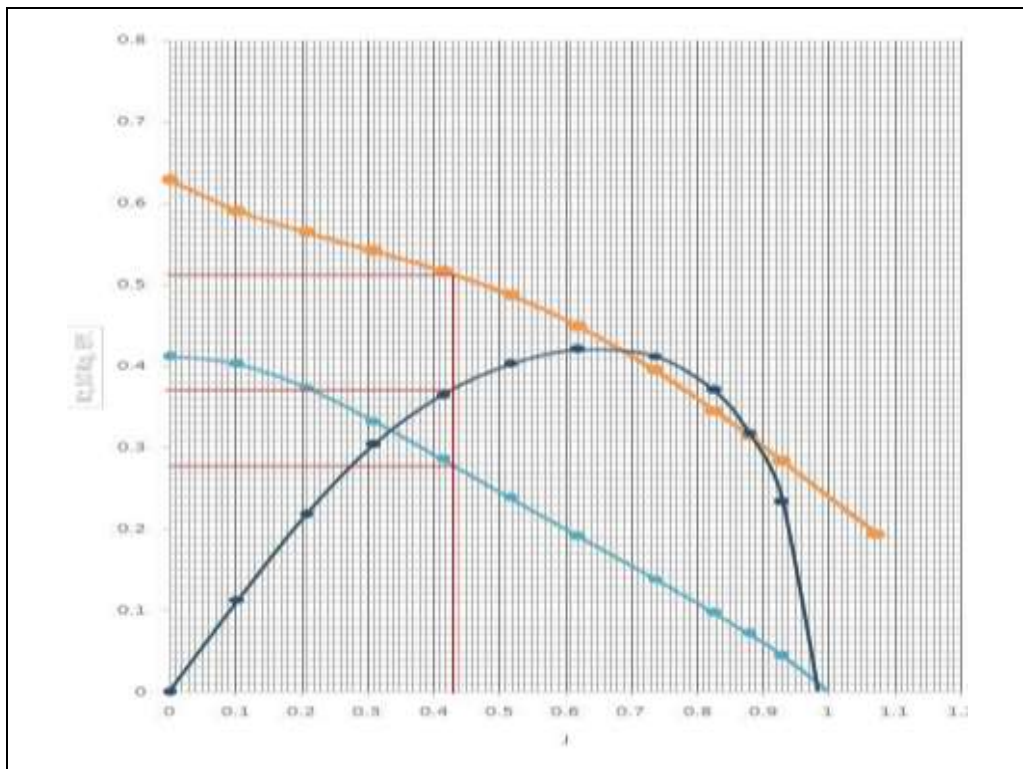
Nilai Thrust dan torsi yang dihasilkan dari pengujian open water test adalah seperti terlampir di lampiran tesis ini. Kemudian dengan menggunakan soft ware Labvie maka akan didapatkan nilai Thrust dan Torsi seperti table dibawah ini .

Tabel.5. Nilai Thrust dan Torsi hasil pengujian model

No	J	V Carriage (m/s)	Rps	Rpm	Thrust (N)	Torsi (N.m)
-	0	0	20	1200	41.704	0.789
1	0.1	0.263	20	1200	40.356	0.769
2	0.2	0.521	20	1200	37.413	0.719
3	0.31	0.782	20	1200	33.859	0.683
4	0.41	1.043	20	1200	29.979	0.636
5	0.51	1.303	20	1200	22.507	0.613
6	0.62	1.564	20	1200	19.574	0.599
7	0.73	1.854	20	1200	14.654	0.513
8	0.82	2.084	20	1200	9.230	0.425
9	0.87	2.215	20	1200	6.927	0.396
10	0.93	2.345	20	1200	5.087	0.355
11	1.07	2.71	20	1200	-4.939	0.251

Dari data hasil pengujian diatas dapat dibuat grafik dengan pendekatan trendline dengan nilai $R=1$ maka didapatkan diagram open water test seperti gambar berikut

Diagram Open Water Test



Gambar.17. Diagram open water test Propeller High skew 45°

Dengan menggunakan J_D pada formula (17) diatas dimasukkan dalam diagram open water pada gambar maka didapatkan nilai K_t dan K_Q . Nilai K_T adalah 0.275 sedang K_Q adalah 0.515

Dengan menggunakan formula (18) didapatkan

$$T = K_t * \rho * n^2 * D^4 \dots\dots\dots(18)$$

Nilai Thrust adalah

$$T = 0.275 * 1025 * (4.5)^2 * (1.45)^4$$

$$T = 24.617 \text{ KN}$$

Nilai Torsi dapat dihitung dengan menggunakan formula

$$Q = K_q * \rho * n^2 * D^5 \dots\dots\dots(19)$$

Nilai torsi adalah

$$Q = 0.515 * 1025 * (4.5)^2 * (1.45)^5$$

$$Q = 6851.7 \text{ Nm}$$

Tabel.6. Perbandingan performa B5-522 dengan High skew 45°

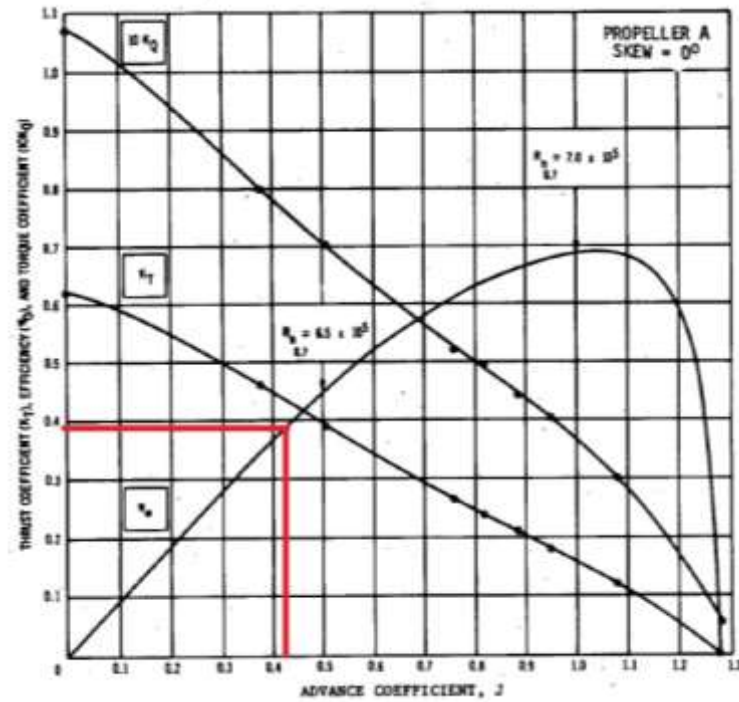
	Desain (MIT Method)	B5-52	High skew 45°
Thrust (T)KN	23.98	24.314	24.617
Torsi(Q)Nm		4922	6851.7
Daya Mesin	170	139.11	193.6

Dari Tabel.6. diatas dapat dilihat thrust yang dihasilkan propeller high skew lebih besar dibandingkan dengan thrust yang dibutuhkan yaitu sebesar $(24.617 \text{ KN} - 23.980 \text{ KN}) = 637 \text{ N}$. Thrust yang dihasilkan ini lebih besar 2.6% dibandingkan thrust yang dibutuhkan kapal selam. Sedangkan apabila menggunakan propeller B5-52 besaran thrust propeller lebih besar 1.397 % dari thrust yang dibutuhkan. Sehingga dapat dikatakan thrust yang dihasilkan propeller *high skew* lebih besar dibandingkan dengan propeller B series.

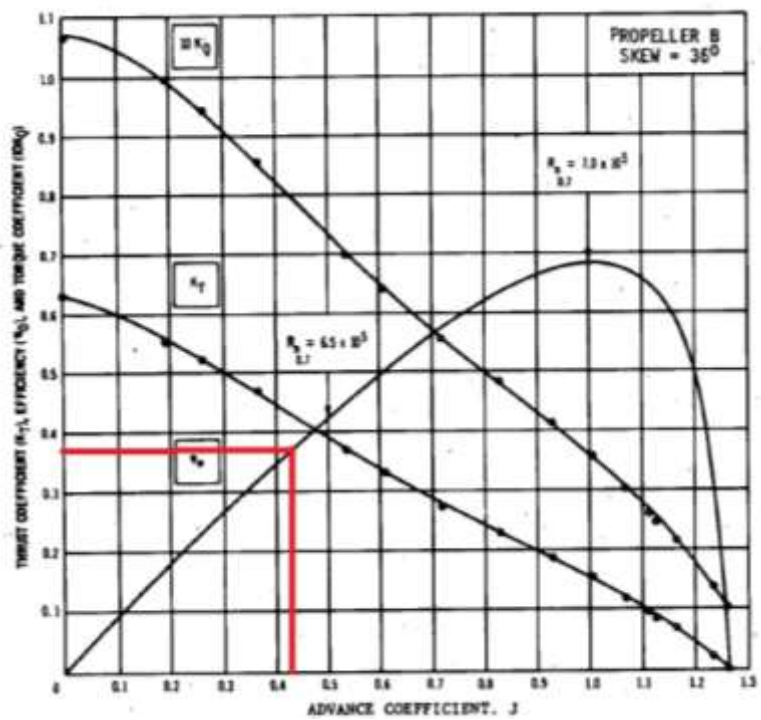
Torsi yang dihasilkan propeller B5-522 adalah 4922 Nm sedangkan propeller *High skew* menghasilkan 6851.7NM. Sehingga dapat dikatakan torsi yang dihasilkan propeller *High skew* 45° lebih besar daripada B5-522.

Daya yang disediakan kapal selam adalah 170 KW, sedangkan daya yang dibutuhkan propeller B series adalah 139.11 KW. Sedangkan daya yang dibutuhkan apabila menggunakan propeller High skew adalah 193.6 KW. Sehingga dapat disimpulkan daya yang dibutuhkan untuk menggunakan propeller High skew adalah lebih besar dibandingkan apabila menggunakan propeller B series.

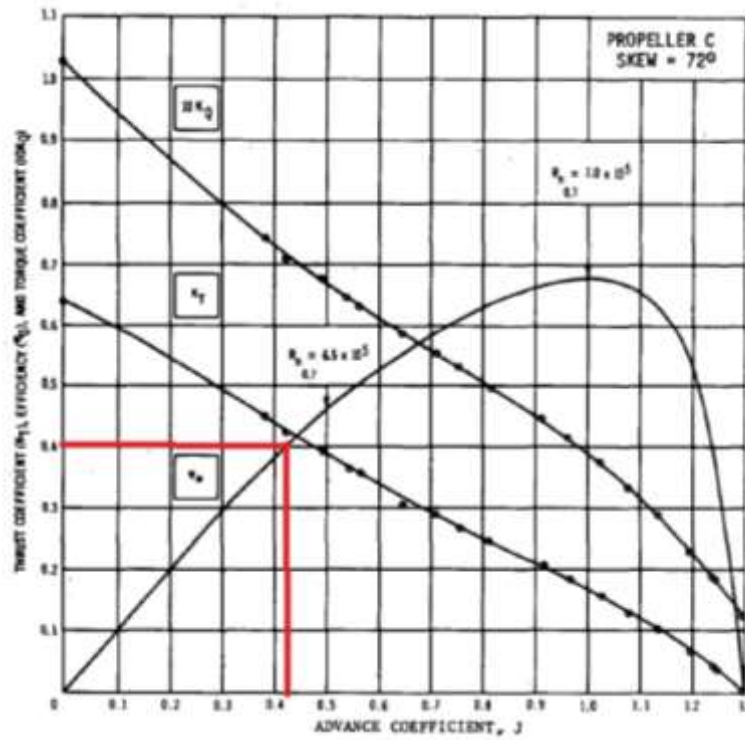
Untuk lebih mengetahui perbandingan performa terutama adalah efisiensi maka perlu dilakukan perbandingan antara efisiensi pada propeller B series dan propeller high skew dibandingkan dengan diagram open water pada J yang sama yaitu 0.431. Untuk diagram open water pembanding digunakan Cumming RA, Morgan WB, Boswell RJ, 1972, Annual meeting, *THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERS*. Dari Gambar no 18 diagram open water test pada sudut 0° pada J 0.431 didapatkan efisiensi sebesar 0.38%, sedangkan pada sudut 36 maka nilai effisiensinya adalah 0.36% seperti pada gambar 19. Sedangkan pada skew 72° Efisiensi mengalami kenaikan menjadi 0.4%. Sedangkan pada skew 108° terjadi penurunan efisiensi yaitu 0.39% seperti terlihat dalam gambar.21.



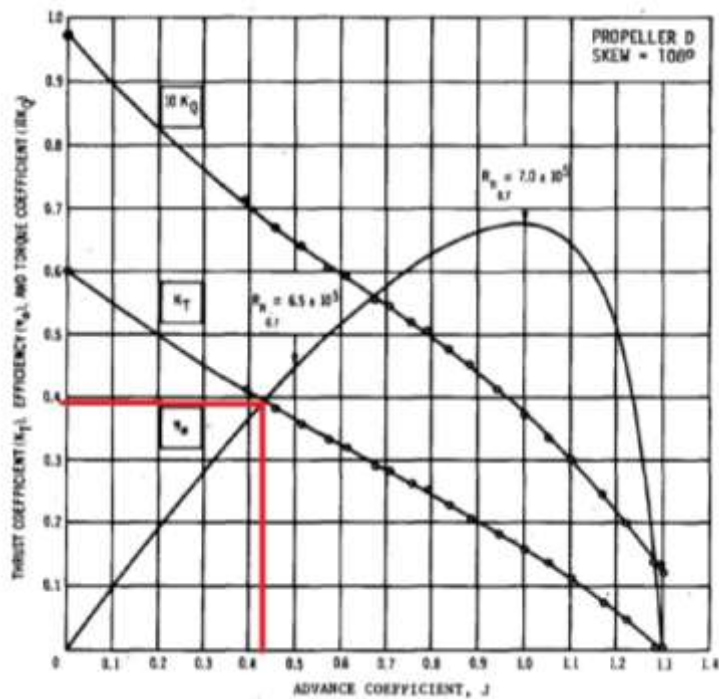
Gambar.18. Diagram open water test propeller dengan skew = 0°
(Cumming RA, Morgan WB, Boswell RJ, 1972, Annual meeting, *THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERS*).



Gambar 19. Diagram open water test propeller dengan skew = 36°
(Cumming RA, Morgan WB, Boswell RJ, 1972, Annual meeting, *THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERS*).



Gambar.20. Diagram open water test propeller dengan skew = 72°
(Cumming RA, Morgan WB, Boswell RJ, 1972, Annual meeting, THE SOCIETY OF
NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERS.



Gambar.21. Diagram open water test propeller dengan skew = 108°
(Cumming RA, Morgan WB, Boswell RJ, 1972, Annual meeting, THE SOCIETY OF
NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERS.

Tabel.7. Perbandingan efisiensi propeller model dengan Cumming RA, Morgan WB, Boswell RJ, 1972, Annual meeting, THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERS.

Skew	Cumming RA& Morgan WB	Pengujian model (%)
	(%)	
0	0.38	
11.6		0.47
36	0.36	
45		0.37
72	0.4	
108	0.39	

Effisiensi pada B5-52 dengan $J=0.431$ adalah 0.47% sedangkan efisiensi pada high skew 45° adalah 0.37%. Hal ini berarti bahwa desain high skew akan mengurangi efisiensi yang signifikan. Hal ini juga sesuai dengan paper *Cumming RA, Morgan WB, Boswell RJ, 1972, Annual meeting, THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERS* dimana pada skew 0o sampai dengan 36 mengalami kenaikan, sedangkan skew 36° sampai 72° mengalami kenaikan efisiensi, namun pada skew 72° sampai 108° mengalami penurunan efisiensi.

Dari diagram *open water test* pada gambar diatas dapat dibuat table perbandingan pada table no dibawah ini. Terlihat bahwa Thrust *high skew* lebih besar dibandingkan

Dengan menggunakan kapal selam pembanding yaitu DG120 dengan spesifikasi yang hampir sama yaitu midget 120 buatan *Drass Technologie Sotomarine, Italia* , didapatkan data-data sebagai berikut

Tabel.8. Perbandingan daya mesin kapal selam DG120 dengan kapal selam 29 meter

	DG120	Kapal selam 29 meter
LOA (meter)	28.2	29
Displacemen (Ton)	130	150
Diameter Hull (meter)	2.3	3
Kecepatan maksimal menyelam (knot)	9	8
Motor Pendorong Pokok (KW)	220	193.6

Dari tabel tersebut terlihat bahwa ukuran kapal hampir sama sehingga bisa dijadikan kapal pembanding. Panjang kapal selam DG120 adalah 28.2 meter sedangkan kapal selam 29 meter adalah 29 meter. Sedangkan Displacement lebih besar kapal selam 29 meter seberat 20.7 Ton. Diameter Hull kapal selam DG120 dan kapal selam 29 meter adalah sama yaitu 3 meter. Kecepatan maksimal kapal selam DG120 adalah 9 knot sedangkan kapal selam 29 meter adalah 8 knot. Daya motor pendorong pokok kapal selam DG120 adalah 220 KW sedangkan kapal selam 29 meter adalah 193.6 KW. Sehingga dari perbandingan ini maka desain propeller high skew 45° layak digunakan sebagai propeller kapal selam 29 meter.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 KESIMPULAN

Dari data dan hasil pengujian diatas serta membandingkannya dengan penelitian maupun kapal selam sejenis maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Salah satu cara menghitung tahanan kapal selam pada saat menyelam adalah dengan menggunakan metode yang telah dikembangkan oleh MIT (Bizzard, C.R, 2008). Metode ini telah diaplikasikan pada Design Ballistic Defense Submarine SSMBD untuk menghitung tahanannya. Dengan menggunakan propeller B-Series dalam penelitian ini B5-52 dapat diketahui bahwa Kapal selam 29 m dapat menggunakan propeller B5-52 dengan motor pokok sebesar 170.51 kW. Karena tipe propeller ini dinilai sesuai dengan kebutuhan kapal selam 29m.
2. Salah satu cara membuat skew pada propeller High skew 45o adalah dengan bantuan software Hydrocomp Propcad. Kemudian dengan menggunakan software Rhinoceros untuk membuat gambar 3 Dimensinya, kemudian dibuat solid dengan software Solidwork. Setelah solid maka dimasukkan program CNC 5 axis untuk membuat model propeller. Dalam penelitian ini model dibuat dengan skala 1 : 11.5.
3. Untuk mengetahui karakteristik performance propeller high skew adalah dengan melakukan uji open water test. Dengan cara memasukkan JD maka dapat diketahui K_t dan K_q . Dari hasil uji model dapat diketahui Terjadi penurunan performa pada propeller ketika dibuat high skew. Penurunan ini sebesar $(0.47\% - 0.37\%) = 0.1\%$. Sehingga disimpulkan performa propeller B5-52 akan mengalami penurunan efisiensi apabila dibuat high skew dengan sudut high skew 45o . Apabila kapal selam menggunakan propeller high skew 45o maka nilai thrust yang dihasilkan adalah sebesar $T = 24.314 \text{ KN}$. Thrust yang dibutuhkan kapal adalah sebesar 23.980KN sehingga kelebihan thrust adalah 334 N atau sebesar 1.393%. Kebutuhan motor pendorong pokok apabila menggunakan

propeller high skew adalah 193.6KW. Sehingga apabila kapal selam menggunakan propeller high skew maka diperlukan motor penggerak yang lebih besar jika dibandingkan dengan kapal selam menggunakan propeller B-series yang hanya membutuhkan 139.11 KW. Dengan menggunakan kapal selam pembandingan dengan ukuran yang hampir sama maka dapat disimpulkan desain propeller high skew 45° layak digunakan sebagai propeller kapal selam 29 meter.

V.2. SARAN

Penulisan ini hanya terfokus pada performa propeller nya saja dengan menggunakan high skew, tanpa memperhatikan kavitasi yang terjadi pada putaran kerja propeller saat beroperasi pada kecepatan 8 knot di bawah air. Selanjutnya untuk penelitian selanjutnya meskipun propeller dengan high skew mempunyai performa yang lebih rendah namun perlu diteliti lebih lanjut tentang kelebihan dari propeller high skew dibandingkan dengan propeller B series.

DAFTAR PUSTAKA

1. R Martin, 2015, “*Submarine Hydrodynamic*”, *Springer Briefs in Applied Sciences and Technology*.
2. Kuiper G, (1992), “*The Wageningen Propeller Series*, MARIN Publication 92-001.
3. Bizzard, C.R, 2008, “*Design Balistic Missile Defense Submarine SSMBD*”, *Aerospace & Ocean Engineering Virginia Tech*,
4. -, “*Midget DGI60*”, *Drass Tecnologie Sottomarine, Livomo, Itali*.
5. Endang Widjiati, (2011), Rancang bangun dan uji akustik propeller kapal selam , proseding Insinas 2012.
6. -, “*Highly Skewed Propellers*”—*Full Scale Vibration Test Results and Economic Considerations* N. O. Hammer, *THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS AND MARINE ENGINEERS, Paper to be Presented at the Ship Vibration Symposium, October 16–17, 1978*,
7. Cumming RA, Morgan WB, Boswell RJ, 1972, *Annual meeting, THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERS*
8. Poul Andersen, Jens J. Kappel, Eugen Spangenberg, “*Aspects of Propeller Developments for a Submarine*” *First International Symposium on Marine Propulsors smp’09, Trondheim, Norway, June 2009*
9. Militer.or.id, 28 November 2016

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Tampilan Simbol pada Uraian Komputer
A_O	Propeller disc area
c	Chord length of propeller blade section
c/D	Chord length-diameter ratio
c_{REF}	Chord length between reference line and edge
c_t	Chord length between maximum thickness point and leading edge
d	Hub diameter
d/D	Hub-diameter ratio
D	Propeller diameter
f	Camber of propeller blade section
h_o	Submergence of propeller shaft axis measured from still
P	Propeller pitch
P/D	Pitch-diameter ratio
r	Radius of propeller blade section
R	Radius of propeller blade
t	Maximum thickness of propeller blade section
t/c	Maximum thickness-chord length ratio
Z	Number off blades
λ	Scale ratio
ϕ	Pitch angle of propeller ratio
J	Advance coefficient

J_V	JV	Apparent advance coefficient
K_Q	KQ	Torque coefficient
K_T	KT	Thrust coefficient
K_{Tm}		Thrust coefficient on model
K_{Tpr}		Thrust coefficient on ship
K_{TP}		Propeller thrust coefficient
K_{TD}	KT-D	Duct thrust coefficient
n	N	Rate of revolution
P_o		Static pressure
$P_o(m)$		Static pressure on propeller model
$P_o(pr)$		Static pressure on ship
P_v		Vapour pressure
$P_v(m)$		Vapour pressure on propeller model
$P_v(pr)$		Vapour pressure on ship
T_P		Propeller thrust
β		Advance angle of propeller blade section
η_o	ETA-O	Propeller efficiency in open water
ρ		Mass density
σ_n		Cavitation number
σ_{nm}		Cavitation number of model
σ_{npr}		Cavitation number of ship
${}_m$	-M	Subscript for model
${}_o$	-O	Subscript for open water